

# **DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE OXIDACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES PLÁSTICAS DEL CARBÓN**

**JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ**



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE METALURGÍA**

**TUNJA**

**2017**

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE  
OXIDACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES PLÁSTICAS DEL CARBÓN**

**JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ**

**Trabajo de modalidad de grado para optar al título de Ingeniero Metalúrgico**

**DIRECTOR**

**ING. M.Sc. Claudia Inés Sánchez**



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE METALURGÍA**

**TUNJA**

**2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Presidente Del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Tunja, 31 de octubre del 2017

**“La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por lo tanto, no responde de la opinión expresada en este proyecto”. Se autoriza la reproducción total o parcial indicando su origen.**

**Copyright © 2015**

## **DEDICATORIA**

Primero le agradezco a Dios por darme salud y vida para permitirme compartir con las personas que me brindo para estar a mi lado y cumplir este sueño.

A mi mamá por apoyarme incondicionalmente, darme la vida y enseñarme a ser mejor persona y aguantarme un poco en el transcurso de la vida, gracias mamá.

A mi hermana junto con su esposo por colaborar en las buenas y malas, por su apoyo cuando se los pedí.

A mi sobrina por ser la mujer más linda de este mundo y brindarme todo el cariño y amor que siente una persona, por ella es quien voy a salir adelante para poderle brindar todo mi cariño y no dejarla nunca sola.

A Alejandra Cifuentes por apoyarme y colaborar en mi proceso de aprendizaje en la universidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la ingeniera M.Sc. Claudia Patricia Molina y a la Ingeniera Claudia Inés Sánchez quienes tuvieron la dirección del proyecto y gracias a ellas se ha efectuado el presente trabajo, por el asesoramiento, paciencia y dedicación brindada durante el desarrollo del mismo.

Al grupo de investigación en Carbones y Carboquímica UPTC, por su colaboración en la investigación; a la directora del grupo, Q. M.Sc. María del Pilar Triviño y a los semilleros por su apoyo incondicional en la elaboración de este proyecto.

A la empresa CDT especialmente a la Dra. Sandra Mendivelso por permitirme realizar las pruebas para finalidad de mi proyecto.

Al ingeniero Pedro Jaimes por su colaboración a la finalidad de mi proyecto de grado.

A mi compañero Juan David Salamanca por su apoyo durante el proceso de la realización de las pruebas y por su intercambio de conocimientos sobre el tema.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	15
INTRODUCCION .....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
2. OBJETIVOS .....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
3. MARCO CONCEPTUAL.....	20
3.1 EL CARBON .....	20
3.1.1 Definición.....	20
3.1.2 caracterización de carbones y coques .....	20
3.1.2.1 Análisis próximos o inmediatos .....	20
3.1.2.2. Otros análisis .....	21
3.1.3 Clasificación del carbón.....	24
3.1.3.1 Clasificación del Carbón según su origen .....	24
3.1.3.2 Clasificación según su formación Geológica.....	25
3.1.3.3 Rango del carbón y propiedades físico-químicas.....	26
3.1.3.4 Clasificación Francesa .....	27
3.1.3.5 Clasificación internacional de los carbones.....	29
3.2 OXIDACIÓN DEL CARBÓN .....	30
3.2.1. Tipos de oxidación del carbón .....	30
3.2.2. Factores que influyen en la velocidad de oxidación del carbón.....	30
3.2.3. Efecto de la oxidación sobre las propiedades plásticas del carbón .....	31
3.3 PIRÓLISIS DEL CARBÓN.....	31
3.3.1 características del carbón para coquización.....	32
3.3.2. Etapas del proceso.....	33
3.3.3. El coque .....	34
4. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	35
4.1DISEÑO METODOLOGICO .....	36
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	37
5.1 CARACTERIZACION DE LA MUESTRA.....	37

5.1.1 Muestra y preparación mecánica .....	37
5.1.2 Pruebas de laboratorio para caracterización de carbones unitarios .....	37
5.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA OXIDACION FÍSICA DEL CARBON .....	41
5.2.1. Preparación mecánica de la muestra. La muestra de carbón es pasada por un proceso de molienda y tamizada.....	41
5.2.2. Calentamiento en atmósfera oxidante.....	41
5.3 PROCEDIMIENTOS PARA LA OXIDACION ALCALINA DEL CARBON	41
5.3.1. Preparación mecánica de la muestra. La muestra de carbón es pasada por un proceso de molienda y tamizada.....	41
5.3.2. Adiciones a la solución oxidante .....	42
5.3.3 Calentamiento de la muestra a oxidar .....	42
5.3.4. Determinación del efecto de la oxidación .....	43
5.4 Determinación de la plasticidad del carbón .....	43
6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....	44
6.1 ANÁLISIS PRÓXIMOS .....	44
6.1.1 Índice de hinchamiento libre. Norma ASTM D720.....	45
6.1.2 Ensayo de plastometría para el carbón sin oxidar.....	46
6.2 RESULTADOS OXIDACIÓN FÍSICA.....	48
6.2.1 Ensayo de plastometría para el carbón con oxidación por Aire.....	49
6.3 RESULTADOS OXIDACION ALCALINA .....	50
6.4 Análisis de las muestras .....	51
7. CONCLUSIONES.....	54
8. RECOMENDACIONES .....	55
9. ANEXOS .....	56
10. BIBLIOGRAFÍA .....	65



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantilla de comparación de FSI.....	22
Figura 2. Mufla para prueba de cenizas.....	38
Figura 3. Cámara memmert.....	39
Figura 4. Horno hoskin.....	40
Figura 5. Equipo para realizar prueba de FSI.....	40
Figura 6 muestras para realizar proceso de oxidación física en cámara memmert..	41
Figura 7 Muestras en proceso de oxidación alcalina.....	42
Figura 8 Muestra en plancha eléctrica.....	42
Figura 9. Equipo Plastómetro.....	43
Figura 10 Muestra después del proceso de oxidación física.....	49

## LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Curva típica de ensayo de plastometría.....	24
Grafica 2. Curva de Fluidez M1.....	47
Grafica 3. Curva de Fluidez M2.....	47
Gráfica 4. Curva de Fluidez M3.....	48
Grafica 5. Oxidación física M1.....	50

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del carbón por formación geológica y edad.....	26
Tabla 2 Clasificación del carbón por Rango.....	27
Tabla 3. Clasificación francesa.....	28
Tabla 4. Tipo de muestra.....	37
Tabla 5. Cantidad de carbones utilizados para la caracterización.....	37
Tabla 6 Datos y resultados de cenizas.....	44
Tabla 7 Datos y resultados de humedad residual.....	44
Tabla 8 Datos y resultados de Materia volátil.....	45
Tabla 9 Datos y resultados de carbono fijo carbones unitarios utilizados en el proyecto.....	45
Tabla 10 Datos y resultados de índice de hinchamiento de los carbones unitarios utilizados en el proyecto.....	45
Tabla 11 Resultados finales de la caracterización del carbón.....	46
Tabla 12 datos ensayo de plastometría para el carbón sin oxidar.....	46
Tabla 13 Resultado prueba de FSI Cambio de las propiedades antes y después de la oxidación.....	48
Tabla 14 Datos del ensayo de plastometría para carbón con oxidación física.....	49
Tabla 15 Cambio de las propiedades antes y después de la oxidación.....	50
Tabla 16 Datos del ensayo de plastometría para carbón con oxidación alcalina...	51
Tabla 17 Comparación de las oxidaciones M1.....	51
Tabla 18 Comparación de las oxidaciones M2.....	52
Tabla 19 Comparación de las oxidaciones M3.....	52

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Cuarteo M1 .....	56
<b>Anexo 2</b> Cuarteo M2 .....	57
<b>Anexo 3</b> Cuarteo M3 .....	58
<b>Anexo 4</b> INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M1 .....	59
<b>Anexo 5</b> INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M1 OX. FISICA .....	60
<b>Anexo 6</b> INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M2 .....	61
<b>Anexo 7</b> INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M3. ....	62
<b>Anexo 8</b> INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M3 OX. FISICA .....	63
<b>Anexo 9</b> INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M3 OX. BASICA .....	64

## GLOSARIO

**Plasticidad:** La plasticidad es un comportamiento mecánico característico de ciertos materiales inelásticos consistente en la deformación permanente e irreversible cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su límite elástico.

**Índice de aglutinación (FSI):** Es un indicador del comportamiento del carbón cuando se calienta, haciendo referencia a las características de carbonización y de producción de especies intermedias ("char" o coque).

**Materia volátil:** Es la pérdida de masa cuando el carbón se calienta sin contacto con el aire en condiciones estandarizadas. En general, a mayor cantidad de materia volátil, mayor serán los volátiles que producirá un tipo específico de carbón al quemarse.

**Cenizas de un carbón:** Residuo de materia mineral que queda después de la incineración de carbón inorgánico, bajo condiciones específicas. También puede aplicarse al residuo de la combustión.

**Carbón mineral:** Roca orgánica combustible que contiene principalmente de carbono (C) con hidrogeno (H), nitrógeno (N) , oxigeno (O) y otros compuestos y materiales inorgánicos.

**Oxidación:** Transformación de un sustrato orgánico que se puede dividir racionalmente en etapas o cambios básicos, estos últimos consisten en la remoción de varios electrones del sustrato, seguida o precedida por una pérdida de agua o de iones de hidróxido o por una sustitución nucleofílica con agua o viceversa o por una redistribución molecular (intramolecular).

**Plastometría:** Es la tendencia del carbón a fundirse o ablandarse llegando al estado líquido al ser calentado. Permite estudiar el comportamiento plástico del carbón. La plasticidad de los carbones durante su calentamiento se mide por los plastómetros y por los penetrómetros. El plastómetro permite poner en evidencia la fusión de los carbones.

## RESUMEN

El proyecto titulado “**Determinación y análisis del efecto de los diferentes tipos de oxidación sobre las propiedades plásticas del carbón**” pretende analizar el cambio de las propiedades plásticas del carbón mineral según el tipo de oxidación que se le aplique, para lo cual se analizan 3 clases de carbón del municipio de Samacá, preparando las muestras según norma D2013 y posteriormente se utiliza la norma ASTM D3172 para los análisis próximos.

Se emplean dos tipos de oxidación: oxidación alcalina la cual se utiliza una base de potasio (Hidróxido de Potasio) a una temperatura de 110°C aproximadamente y oxidación física o térmica la cual se realiza a una temperatura de 200°C con una inyección del 90 % de aire durante 24 horas; posteriormente se realizan las pruebas de FSI según norma ASTM D 720 y de plastometría ASTM D 2639 antes y después de realizar las oxidaciones pertinentes para poder observar cuál fue la oxidación que más nos afectó las propiedades plásticas del carbón mineral del centro de Boyacá (Samacá), y cual es más adecuada para la aplicación a nivel industrial; los ensayos de plastometría y FSI nos describen el comportamiento del carbón durante la fabricación del coque.

### **Palabras Claves.**

Plasticidad, índice de hinchamiento, fluidez, carbón mineral, oxidación.

## INTRODUCCION

El carbón humicos después de haber alcanzado su mayor producción por el segundo trimestre del año 2016 que fue de 1'295.476 toneladas bajo a 597.846 toneladas en los meses julio y septiembre; en Samacá fue uno de los municipios que más influyo esta baja. La producción de carbón en el tercer trimestre se vio afectada en un 35 a 40%<sup>1</sup>. Municipios como Socha y Socotá, que son otros grandes productores de carbón en el departamento también se vieron afectados y mermaron su extracción. En cambio, en los municipios de Paipa y Sogamoso incrementaron la explotación de julio a septiembre. En estas poblaciones se produce carbón térmico, utilizado en las termoeléctricas, cementeras y otras industrias.<sup>2</sup>

La pequeña y mediana minería de carbón del país seguirá con un crecimiento sostenido en su operación y ventas para el 2017 en el cual también se mantienen los mercados internacionales<sup>3</sup>. Ya que ha venido en constaste crecimiento a nivel departamental la producción del carbón mineral puesto que en el 2016 fue de 5 millones de toneladas en comparación con el 2015, de las cuales 3,1 millones de toneladas fue aportada por la minería a pequeña y mediana escala que se hace en regiones distintas a Cesar y la Guajira; estos datos son del Ministerio de Minas y Energía el cual indica que una de las variables para tomar en cuenta es el incremento de producción en la minera mediana y pequeña<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> EL TIEMPO. (22 de NOVIEMBRE de 2016). *EL TIEMPO*. Obtenido de EL TIEMPO:  
<http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/caida-en-la-produccion-de-carbon-en-boyaca-47855>

<sup>2</sup> Ibid. p. 1

<sup>3</sup> LÓPEZ SUÁREZ, A. Minas pequeñas de carbón suman a la producción del mineral.  
Disponible en Internet <URL: <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/mineral-pequena-de-carbon-aumento-en-2016-504556>>.2017. p.1

<sup>4</sup> Ibid p. 1



Según la cartera minero energética, en el balance consolidado de la operación minera en el 2016, señala que la minería a menor escala alcanzó una cifra histórica de crecimiento del 10,5% el cual ha venido sostenido desde el año 2014 con un 6,4% y el 2015 con un 7,0%.<sup>5</sup>

Ya que el carbón mineral ha venido en constante crecimiento es importante evaluar los factores negativos como lo es el efecto de oxidación ante el carbón, ya que es un factor que influye negativamente en la industria para procesos de coquización.

El proyecto pretende evaluar las propiedades plásticas de tres carbones unitarios antes de realizarle dos tipos de oxidación (química y física) y después de dicha prueba, para observar el comportamiento negativo de la oxidación con respecto a las propiedades plásticas del carbón.

Con base a las anteriores consideraciones, se realiza una investigación para poder determinar la influencia de la oxidación y no dejarlo en laboratorio si no poderlo llevar a nivel industrial; los procedimientos y resultados se registran en el presente documento, de acuerdo con la siguiente descripción:

En un primer capítulo se formula el planteamiento del problema. En el capítulo dos se presentan los objetivos del proyecto, con el fin de establecer las metas parcial y general de la investigación. En el capítulo tres, se presenta una síntesis de los conceptos técnicos y científicos, necesarios para fundamentar y estructurar la investigación. En el capítulo cuatro, se presentan las actividades y procedimientos normalizados, llevados a cabo para demostrar el logro de los objetivos a través de los resultados. En el capítulo quinto, se hace el análisis y la discusión de los resultados, para llegar a unas posibles soluciones concisas las cuales ayudan a resolver el problema. Finalmente, se presentan las conclusiones, con el fin de establecer un nivel de factibilidad a partir de carbón mineral.

---

<sup>5</sup> Ibid p. 1.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso del carbón en las diferentes aplicaciones, requiere de una serie de procesos secuenciales, que van desde la exploración, explotación, producción, almacenamiento, transporte y preparación mecánica, hasta la transformación del carbón.

En cada uno de estos procedimientos, el carbón experimenta algún grado de modificación en sus propiedades fisicoquímicas como lo es la reducción de tamaño con el consecuente incremento de área superficial. Además de esto el continuo cambio de las condiciones ambientales afecta especialmente el proceso de almacenamiento debido a que se produce el efecto de oxidación que influye directamente en sus propiedades plásticas y el grado de reactividad, la cual es base de eficiencia química y energética del carbón.

En cuanto al efecto de la oxidación sobre la reactividad en la activación se ha encontrado que en general hay un aumento en las velocidades de gasificación de las partículas con la oxidación, aunque en algunos casos la oxidación puede inhibir la reactividad del carbón.

¿Según el tipo de oxidación, cual es el cambio que tiene el carbón respecto a sus propiedades plásticas?

Por tanto se toman tres muestras de carbón unitarias con el fin de analizar el cambio en sus propiedades plásticas después de someterlas a un proceso de oxidación física y oxidación alcalina.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto de los diferentes tipos de oxidación en las propiedades plásticas del carbón de la provincia centro del departamento de Boyacá.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 2.2.1 Clasificar el carbón a utilizar según norma ASTM D 388
- 2.2.2 Realizar pruebas de oxidación por aire, soluciones alcalinas a tres muestras de carbón de la provincia centro del departamento de Boyacá
- 2.2.3 Determinar la variación de las propiedades plásticas de los carbones oxidados, de acuerdo con los procedimientos de las normas ASTM D 2639 y ASTM D720

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 EL CARBON

3.1.1 Definición. El carbón es una roca sedimentaria formada por el depósito de materia vegetal mezclado con otras sustancias. Es una de las principales fuentes de energía. Los macerales que componen el carbón son químicamente diferentes, microscópicamente distintos y pueden ser separados físicamente<sup>6</sup>.

#### 3.1.2 caracterización de carbones y coques

3.1.2.1 Análisis próximos o inmediatos. Los ensayos para determinar el rango se efectúan de acuerdo a normas ASTM D3172:

**Humedad interna..** La humedad es determinada por la estabilización en pérdida de peso de una muestra que controla las condiciones de temperatura, tiempo, atmosfera, y peso de muestra desarrollada con equipos específicos. Es usada para calcular otro método analítico en base seca. Se determina según la Norma A.S.T.M. D3173.<sup>7</sup>

**Materia volátil.** Este método determina el porcentaje de productos gaseosos, los análisis son obtenidos a condiciones específicas de la prueba. Se determina según la Norma A.S.T.M. D3175.<sup>8</sup>

**Cenizas.** Este método de ensayo cubre la determinación del residuo inorgánico presente en los carbones. La ceniza es determinada por el peso del residuo restante

---

<sup>6</sup> Teng H, H. y. (1997). Preparation of activated carbons from bituminous coals with CO<sub>2</sub> activation: Influence of coal oxidation. preparation of activated carbons from bituminous coals with CO<sub>2</sub> activation: Influence of coal oxidation., 275 - 283.

<sup>7</sup> ASTM. Designation: D 3173 Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. . Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2017

<sup>8</sup> ASTM. Designation: D 3175 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2017

después de la combustión, bajo condiciones controladas tales como, la temperatura, el tiempo, el tipo de atmosfera, entre otros equipos específicos. Se determina según Norma A.S.T.M D3174.<sup>9</sup>

**Carbono fijo.** El carbono fijo es calculado según la suma de los porcentajes de los ensayos de humedad, cenizas y materia volátil se les sustrae a 100. Todos los porcentajes deben estar en la referencia de humedad. Se determina bajo la Norma A.S.T.M. D3172.<sup>10</sup>

#### 3.1.2.2. Otros análisis

**Azufre.** El azufre está presente en el carbón como azufre pirítico, orgánico y sulfato. La suma de los tres (3) da el azufre total se determina según la norma A.S.T.M D3177 o D4279.<sup>11</sup>

**FSI (Free swelling Index).** Este método de ensayo es una prueba para la obtención de información con respecto a las propiedades aglutinantes de un carbón. Los resultados pueden ser utilizados como una indicación del apelmazamiento característica del carbón cuando se quema como combustible. Se determina según la norma A.S.T.M D720.<sup>12</sup>

La determinación del índice de hinchamiento libre se logra por comparación entre el resultado (botón) y la plantilla de la figura 1, la escala de la plantilla debe ser la que aparece en la norma.<sup>13</sup>

---

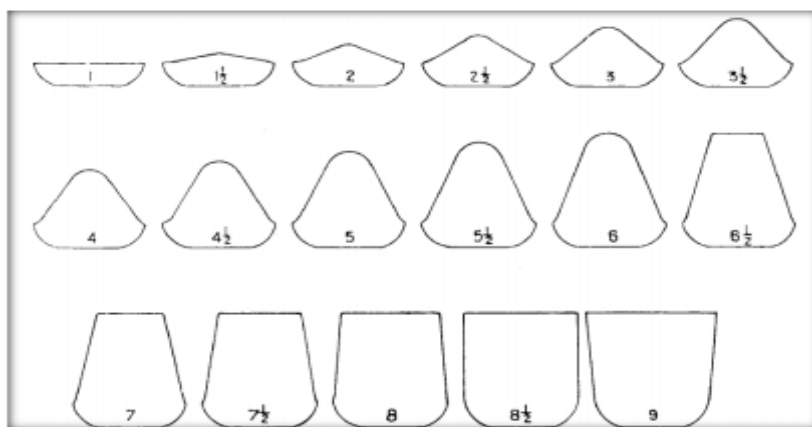
<sup>9</sup> ASTM. Designation: D 3174 Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2012

<sup>10</sup> ASTM. Designation: D 3172. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2013

<sup>11</sup> ASTM. Designation: D 4239. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2017.

<sup>12</sup> ASTM. Designation: D 720. Standard Test Method for Free-Swelling Index of Coal. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2010

<sup>13</sup> Ibid. p.1.



Fuente. Norma ASTM 720

Figura 1. Plantilla de comparación de FSI.

**Plastometría.** Es la tendencia del carbón a fundirse o ablandarse llegando al estado líquido al ser calentado. Permite estudiar el comportamiento plástico del carbón. La plasticidad de los carbones durante su calentamiento se mide por los plastómetros y por los penetrómetros. El plastómetro permite poner en evidencia la fusión de los carbones. El plastómetro Gieseler consta de una retorta de acero en la que se introducen de 2 a 2.5 gramos de carbón seco molido a tamaños inferiores a 0.2 mm y en la que se aloja una varilla portadora de aletas radiales a distinta altura. El extremo superior de la varilla está roscado para acoplarla a otra varilla hueca que lleva calada una polea en la parte superior, que es accionada por un hilo, enrollado en ella, el cual soporta por el otro extremo un platillo una carga de 50 gramos<sup>14</sup>.

La retorta se sumerge en un baño fundido de plomo y estaño a una temperatura inicial de 350°C. Cuando el carbón empieza a ablandarse, el agitador empieza a rotar lentamente, la rotación se puede leer sobre un cuadrante en forma de disco, el cual está dividido en 100 partes y un centésimo de rotación completa se llama "División Dial". Continuando el calentamiento la fluidez del carbón aumenta y el

<sup>14</sup> ASTM Designation D 2639-16, Standard Test Method for Plastic Properties of Coal by the Constant-Torque Gieseler Plastometer. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA (2016).

agitador rota con velocidad siempre mayor: la rotación se registra cada minuto en función de la temperatura. Después de haber alcanzado la máxima fluidez el carbón comienza a transformarse en semicoque, y la velocidad de rotación gradualmente se anula.<sup>15</sup>

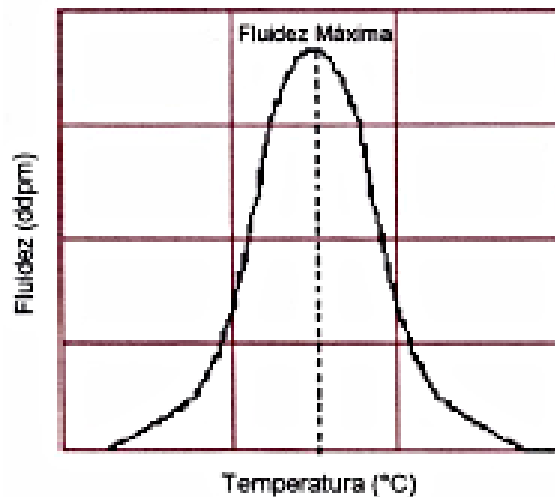
Los resultados se expresan especificando los siguientes parámetros:

- Temperatura inicial de ablandamiento, °C: Es la temperatura en que el movimiento del cuadrante alcanza 1ddpm.
- Temperatura de máxima fluidez, °C: Es la temperatura en que la rotación del disco alcanza la máxima velocidad.
- Temperatura de solidificación, °C: Temperatura en que el movimiento del disco se para.
- Máxima fluidez, ddpm: Máxima velocidad de rotación del disco.
- Curva de fluidez: Es un diagrama semilogarítmico, elaborado colocando como abscisa la temperatura con escala lineal, y en ordenadas la fluidez en ddpm, con escala logarítmica.
- Las temperaturas del principio y fin del ablandamiento, la temperatura de máxima plasticidad y los valores de fluidez son características de la fusión de los carbones investigados.

El grafico 1 representa una curva típica que presentan los carbones con características aglomerantes en donde tiene un comportamiento senoidal alcanzando un máximo nivel de fluidez en una temperatura.

---

<sup>15</sup> Ibid. p. 2.



Fuente. Ulhôa, 2003, p. 132.

Grafica 1. Curva típica de ensayo de plastometría

### 3.1.3 Clasificación del carbón

La amplia distribución de los recursos carboníferos, la gran variedad de carbones existentes y la necesidad de facilitar la selección de carbones para sus diferentes usos tecnológicos, estimuló la generación de diferentes sistemas de clasificación, permitiendo una mejor valoración de sus propiedades. Algunos sistemas de clasificación más relevantes y empleados en la caracterización geológica y petrográfica del carbón se mencionan a continuación.<sup>16</sup>

#### 3.1.3.1 Clasificación del Carbón según su origen

Los carbones representan una parte muy importante de los combustibles fósiles y de acuerdo con la materia orgánica que los originó presentan diferencias

<sup>16</sup> ALARCÓN German. Efecto de los parámetros reológicos y petrográficos del carbón en la calidad del coque metalúrgico “en línea” disponible en internet <URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4351/1/197444.2011.pdf>>2011. p. 5



petrográficas y microscópicas que permite clasificarlos como: húmicos y sapropélicos.<sup>17</sup>

Los carbones húmicos son aquellos que se formaron principalmente a partir de ácidos húmicos, son de color negro y se dividen según su componente macroscópico dominante en fusíticos, duríticos, vitríticos, claríticos, entre otros. Los carbones residuales son muy ricos en componentes microscópicos tales como resinita, cutinita, fusinita, esporinita, suberinita con más del 90%. Se suelen presentar en masas lenticulares incluidas entre estratos de carbones húmicos; son de color pardo y tiene brillo graso. Contienen más hidrógeno que los carbones húmicos por lo que producen gran cantidad de gas.<sup>18</sup>

Los carbones sapropélicos son procedentes de algas, muy ricos en alginitas, de tipo graso y proporcionan grandes cantidades de gas y alquitranes, pero generan poca cantidad de coque. Los carbones sapropélicos son de tipo la cumbre y representan el puente entre los carbones y los petróleos<sup>19</sup>

#### 3.1.3.2 Clasificación según su formación Geológica

El carbón se formó a partir de restos vegetales en un ambiente lacustre que sufrieron un enterramiento y posterior transformación por acción de la presión, la temperatura y el tiempo a través de millones de años. Considerando que la materia orgánica a partir de la cual se formó el carbón es variada y difiere en su edad de formación, aparece la clasificación del carbón por edad geológica que se muestra en la tabla 1, indicando era, período, edad y la transformación desde el lignito hasta la antracita.<sup>20</sup>

---

<sup>17</sup> Ibid. p. 5

<sup>18</sup> Ibid. p. 5

<sup>19</sup> Ibid. p. 5

<sup>20</sup> Ibid. p. 6

SISTEMA GEOLÓGICO		EDAD EN AÑOS	RANGO
ERA	PERÍODO	(millones)	
Paleozoico superior	Carbonífero	250	Carbones Bituminosos
	Pérmico	210	Carbones bituminosos y antracita
Mesozoico	Triásico	180	Bituminosos
	Jurásico	150	Bituminosos
	Cretáceo	100	Bituminosos y Sub bituminosos
Cenozoico	Terciario	Eoceno	Lignitos y Sub bituminosos
		Oligoceno	Lignitos
		Mioceno	Lignitos
	Cuaternario	Pleistoceno	Solamente Turba
		Reciente	

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4351/1/197444.2011.pdf>>2011

Tabla 1 Clasificación del carbón por formación geológica y edad

3.1.3.3 Rango del carbón y propiedades físico-químicas: Es el grado de evolución alcanzado por un carbón desde el momento de su formación hasta el estado actual. El aumento en el Rango conlleva las siguientes transformaciones físico-químicas. Incremento del carbono, reducción de Materias Volátiles, reducción de O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, menor retención de humedad, Mayor reflectancia de la Vitrinita, mayor poder calorífico<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Ibid. p. 6

CLASE	GRUPO	Límites CF (%, bslmm)	Límites MV (%, bslmm)	Límites PC (btu, bhlmm)	Carácter aglomerante
1. Antracíticos	Meta-antracita	98 o más	2 o menos)		No aglomerantes
	Antracita	92 – 98	2 - 8		
	Semiantracita	86 – 92	8 - 14		
2. Bituminosos	Bajo volátil	78 – 86	14 - 22		Aglomerantes
	Medio volátil	69 – 78	22 - 31		
	Alto volátil A	Menos de 69	Más de 31	14000 o más	
	Alto volátil B			13000-14000	
	Alto volátil C			11500-13000	
3. Subbituminosos	A			10500-11500	No aglomerante
	B			9500-10500	
	C			8300–9500	
4. Ligníticos	Lignito			6300-8300	No aglomerante
	Carbón pardo			Menos de 6300	

Fuente. Norma A.S.T.M. D 388

Tabla 20 Clasificación del carbón por Rango

#### 3.1.3.4 Clasificación Francesa

Esta clasificación se basa en las propiedades reológicas, aglomerantes, materia volátil y la reflectancia media de la vitrinita como se indica en la tabla 3. En esta clasificación ~ 7 ~ aparecen 12 clases bien diferenciadas y es útil para tener idea del comportamiento del carbón durante la pirolisis.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Ibid. p. 7

CLASE	MV (%)	IHL	TR (°C)	D (%)	Rm
Llameante seco	39-40	1	< 460		0,60 - 0,70
Llameante graso B	38-40	2 – 3½	460-470	10 a 30	0,70 – 0,75
Llameante graso A	37-39	3½ - 5	460-480	20 a 60	0,75 - 0,85
Graso B	37-39	7 – 7½	480-490	100 a 230	0,85 - 0,95
Graso A	33-38	7½ - 8½	490-505	140 a 250	0,95 - 1,05
Graso coque B	26-33	7½ - 9	495-510	40 a 100	1,00 - 1,25
Graso coque A	21-26	8 – 9	500-515	0 a 20	1,25 - 1,50
¾ graso	18-20	6-8½			1,50 - 1,70
½ graso	13-18	2-5			1,70 - 1,90
¼ graso	12-16	1			1,90 - 2,10
Magro	8-14	0			2,00 – 2,80
Antracita	< 8	0			> 2,80

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4351/1/197444.2011.pdf>>2011

Tabla 3. Clasificación francesa

MV: materia volátil base seca libre de materia mineral; IHL: índice de hinchamiento libre; TR: temperatura de resolidificación en °C; D: máxima dilatación en %; Rm: reflectancia media aleatoria de la vitrinita.<sup>23</sup>

**Turbas.** Producto de la primera etapa del proceso de descomposición de los restos vegetales por acción de bacterias aeróbicas, a nivel superficial y anaeróbicas (reductoras), en las profundidades. Se extrae en forma de lodos, se beneficia secándola, pero es altamente higroscópica. Las propiedades más importantes: Color pardo al negro Densidad 0.2 – 1.1 g/cm<sup>3</sup>, temperatura de inflamación 230°C, arde con llama larga y humeante cenizas, 12 – 30%, poder calorífico, 3400 a 4000 Kcal/kg<sup>24</sup>.

**Lignitos.** En su mayor parte son resultado de la transformación de turberas. Se definen como carbones terrosos o xiloides, con contenidos de humedad hasta del 60% y poderes caloríficos apenas superiores a las turbas. Los más evolucionados

<sup>23</sup> Ibid. p. 7

<sup>24</sup> Ibid. p. 9.

(lignitos negros) pueden alcanzar color negro brillante. Tratado con sustancias alcalinas produce ácidos húmicos. Secos son muy oxidables y susceptibles de inflamarse espontáneamente, son autoaglomerantes; especialmente los pardos<sup>25</sup>.

**Hullas.** Proviene de la evolución de los lignitos. Se describe como una masa amorfa, densa, de estructura fibrosa o pizarrosa no mancha los dedos, tiene fractura vítrea y bajos volátiles. Color pardo al negro brillante o mate densidad 1.2 – 1.3 g/cm<sup>3</sup>, temperatura de inflamación 300 - 350°C, arde con llama larga y poco humeante, cenizas, 6 – 15%, poder calorífico, 3700 Kcal/kg. (prom). En términos generales, las hullas se usan en generación térmica, en procesos de gasificación, en calefacción de fraguas o forjas, coquización de alta temperatura, briqueteado y combustión doméstica.<sup>26</sup>

**Antracitas.** Es el producto final de la evolución del carbón (Turba –Lignito – Hulla – Antracita). Las propiedades más importantes: Color negro brillante, densidad >1.3 g/cm<sup>3</sup>, temperatura de inflamación 350°C, arde sin humo, cenizas, <4%, poder calorífico >4000 Kcal/kg. (prom).<sup>27</sup>

3.1.3.5 Clasificación internacional de los carbones. El sistema de clasificación más utilizado es el propuesto por la ASTM como se ve en la tabla 1. Donde los carbones se clasifican por rango, en cuatro clases: lignitos, subbituminosos, bituminosos y antracíticos, siendo este el orden en que incrementa el grado de metamorfismo. Estas categorías indican intervalos de características físicas y químicas que son útiles en la estimación del comportamiento del carbón en la minería, preparación y usos.<sup>28</sup>

---

<sup>25</sup> Ibid. p. 10.

<sup>26</sup> Ibid. p. 11.

<sup>27</sup> Ibid. p. 11.

<sup>28</sup> (ASTM D388 - 05, Standard Classification of Coals by Rank. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 1 9428 - 2959 USA)(2005)

### 3.2 OXIDACIÓN DEL CARBÓN

Al someter un carbón a una atmósfera oxidante, tal como aire, oxígeno molecular, entre otros, sufre procesos oxidativos que implican transformaciones de sus propiedades químicas y físicas. Se presenta un incremento substancial del contenido de este elemento; así mismo, cambia su calor de combustión, su índice de hinchamiento, y también la susceptibilidad de éste a posteriores oxidaciones. La muestra de carbón debe calentarse a temperaturas entre 150 y 250°C; una vez alcanzada la temperatura de acuerdo a estudios realizados a carbones bituminosos, en donde la mayor oxidación sucede entre las 18 y 24 horas.<sup>29</sup>

3.2.1. Tipos de oxidación del carbón. Los procesos de oxidación del carbón se realizan utilizando tres medios principales: (1) oxidación con aire, (2) oxidación con soluciones alcalinas de hipoclorito, hipobromito, dicromato de sodio, y permanganato, y (3) oxidación utilizando soluciones de ácidos; nítrico, trifluoroacético, sulfúrico, y mezclas de ellos; también suele utilizarse como agente oxidante el peróxido de hidrógeno.<sup>30</sup>

El proceso de oxidación ocurre en dos etapas para los carbones bituminosos; mientras que, para los carbones de bajo rango altos en volátiles, el proceso ocurre en una sola etapa.<sup>31</sup>

3.2.2. Factores que influyen en la velocidad de oxidación del carbón. Principalmente son dos los factores: el rango y el tamaño, en donde la velocidad de oxidación varía de modo inverso al rango. Es decir, cuanto mayor sea el rango (menor contenido en materias volátiles), menor será la oxidación sufrida.<sup>32</sup>

---

<sup>29</sup> Teng H, H. y. (1997). Preparation of activated carbons from bituminous coals with CO<sub>2</sub> activation: Influence of coal oxidation. Preparation of activated carbons from bituminous coals with CO<sub>2</sub> activation: Influence of coal oxidation., 275-283.

<sup>30</sup> Bansal R, P. P. (1996). Effect of coal preoxidation on the development of microporosity in activated carbons. *Carbon*, 789-787.

<sup>31</sup> Ibid. p.

<sup>32</sup> Ibid. p.

El tamaño influye en el sentido de que cuanto mayor área tenga el carbón mayor será la superficie de contacto y esto implica mayor velocidad de oxidación. La temperatura a la cual se inicia la combustión espontánea se denomina temperatura crítica, y no es la misma para todos los carbones. Cuando la temperatura es menor que la crítica disminuye el poder calorífico, % de C y H<sub>2</sub>, Poder aglomerante, tamaño y estas propiedades aumentan con el porcentaje de O<sub>2</sub>. Cuando la temperatura sobrepasa la temperatura crítica se produce la combustión espontánea.<sup>33</sup>

3.2.3. Efecto de la oxidación sobre las propiedades plásticas del carbón. Los carbones del rango bituminoso experimentan una fase plástica en la etapa de carbonización que puede promover la aglomeración y la coquización. El comportamiento plástico limita el desarrollo de la estructura porosa y dificulta la entrada de gases en la activación.<sup>34</sup>

En diferentes investigaciones se ha encontrado que la oxidación del carbón antes de la carbonización permite reducir o eliminar las propiedades plásticas y obtener un carbonizado con un desarrollo apropiado de la estructura porosa. Adicionalmente, en la activación de un carbón preoxidado se puede lograr un aumento significativo en el área superficial con respecto al mismo proceso sobre un carbón sin oxidar.<sup>35</sup>

### **3.3 PIRÓLISIS DEL CARBÓN**

La pirólisis es el proceso de calentar el carbón en ausencia de aire, obteniendo de esta forma una ruptura de las moléculas, ya que se traduce en productos químicos que se desprenden y un residuo (coque) que se va acumulando y transformando en la misma medida.<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> Ibid. p.

<sup>34</sup> Ibid. p.

<sup>35</sup> Ibid. p.

<sup>36</sup> ROMERO Segundo. Aspectos practicos de la coquización en Cundinamarca Boyacá. en línea” Disponible en internet <URL:

### 3.3.1 características del carbón para coquización:

La designación de un carbón como coquizable o no, depende de su comportamiento cuando se calienta en ausencia del aire. Si se ablanda y eventualmente se solidifica es una masa más o menos compacta, se clasifica como coquizable.

La pirolisis produce la pérdida de heteroátomos como hidrógeno, oxígeno y nitrógeno formando materia volátil; los átomos de carbono residual se agrupan en apilamientos de hojas de grafeno que están entrecruzadas al azar. Puesto que estas capas de grafeno están agrupadas de forma irregular, dejan unos huecos o espacios entre sí, que pueden estar parcialmente bloqueadas por los alquitranes que se producen en el proceso de carbonización.<sup>37</sup>

Los procesos a temperatura baja van hasta los 550° Celsius, predominando la producción de aceites y líquidos alquitranados; la pirolisis a temperatura media se desarrolla a temperaturas entre los 550° y los 800° Celsius, de la cual se busca obtener básicamente producción de metano e hidrocarburos superiores. Los procesos de pirolisis a altas temperaturas se generan a temperaturas superiores a los 800° Celsius, para lograr una producción de gas con bajo poder calorífico<sup>38</sup>.

Esta se conoce también como pirolisis rápida, en la que la partícula, se somete a altas temperaturas (entre 800 y 1000 ° Celsius) durante cortos periodos de tiempo, generalmente segundos; este proceso rápido permite tener bajos contenidos de material sólido, y una gran proporción de gas rico en contenido de hidrogeno y monóxido de carbono.<sup>39</sup>

---

[http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/viewFile/3449/3084](http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/viewFile/3449/3084)>  
2014. p. 2.

<sup>37</sup> Ibid. p. 2.

<sup>38</sup> Agrowaste. *Agrowaste.eu* 2013. "en linea" Obtenido de Agrowaste.eu. disponible en internet <URL: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>>2015. p. 1.

<sup>39</sup> Ibid. p. 1.



3.3.2. Etapas del proceso. A una temperatura menor de 200°C Se produce la Pérdida de agua y gases atrapados en el carbón, tales como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

**Etapla plástica.** Entre 350 y 500°C se produce el primer rango crítico de temperatura, en el cual el carbón reblandece y funde y alcanza su mayor estado Fluidéz produciendo un semicoque.<sup>40</sup>

**Etapla post-plástica.** Cuando se eleva progresivamente la temperatura por encima de la temperatura de re solidificación (aproximadamente 500 °C), el semicoque sufre una serie de transformaciones químicas con pérdida de materia volátil, fundamentalmente H<sub>2</sub> y moléculas de pequeño tamaño, para dar lugar al producto final, coque.<sup>41</sup>

**Etapla de consolidación.** A partir de 750°C se produce la compactación definitiva del producto sólido, donde los planos aromáticos se alinean tendiendo a una organización grafitica. Esta etapa comienza cuando las paredes del horno hayan recibido suficiente calor, y se da inicio al proceso de coquización en el cual ocurren diferentes reacciones ( $C + O \rightarrow CO$ ,  $CO + O \rightarrow CO_2$ ).<sup>42</sup> Todos los procesos descritos dan lugar a un material con alto contenido en carbono, poroso y heterogéneo, el coque. Tanto la estructura cristalina como la porosa del coque producido están directamente relacionadas con la naturaleza del material de partida, con su comportamiento durante la etapa plástica y con las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso de carbonización.<sup>43</sup>

La carbonización es una etapa previa a la activación donde el precursor es sometido a elevadas temperaturas (del orden de los 800°C) en ausencia de aire, para eliminar

---

<sup>40</sup> Ibid. p.

<sup>41</sup> Ibid. p.

<sup>42</sup> Ibid. p.

<sup>43</sup> Ibid. p.

las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que será el que se someta a la activación. Durante la desvolatilización, la salida de los gases y vapores del precursor produce una porosidad “incipiente” en el carbonizado, la cual se desarrolla aún más durante la etapa de activación.<sup>44</sup>

3.3.3. El coque. El coque se define como el producto sólido de la destilación a alta temperatura de un carbón o mezcla de carbones (generalmente bituminosos), al cual se le elimina el contenido de volátiles, incrementando el carbono fijo, con o sin la adición de otros materiales; su naturaleza depende de las materias primas de partida, de las características de los hornos donde se realice el proceso, y del modo operativo que se siga. El proceso se realiza basándose en una destilación seca y el producto residual que se obtiene es un compuesto poroso, de propiedades físicas y químicas específicas.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> El carbón activado “en línea” obtenido de Ciencia libre. Disponible en internet <URL: <http://cienciacatalisislibre.blogspot.com.co/2011/11/el-carbon-activado.html>>2015. p. 1.

<sup>45</sup> ARDILA. OP. CIT., P. 30.

#### **4. DISEÑO EXPERIMENTAL**

El proceso de oxidación del carbón ha sido objeto de investigaciones relacionadas con la cinética de las reacciones químicas, la termodinámica y el efecto sobre los procesos productivos. Para esto vamos a realizar una serie de procedimientos para poder analizar la oxidación junto a las propiedades principales que afecta.

Para realizar esta investigación se plantea lo siguiente:

Recolección de muestras de carbón mineral: Esta es la fase inicial del trabajo donde se tomarán 3 muestras de carbón mineral, según la norma ASTM 2013.

Preparación de las muestras: En esta etapa se va a realizar la preparación mecánica del carbón según la norma ASTM 2013.

Análisis próximos del carbón: Los análisis se realizarán de acuerdo a la norma ASTM D3172

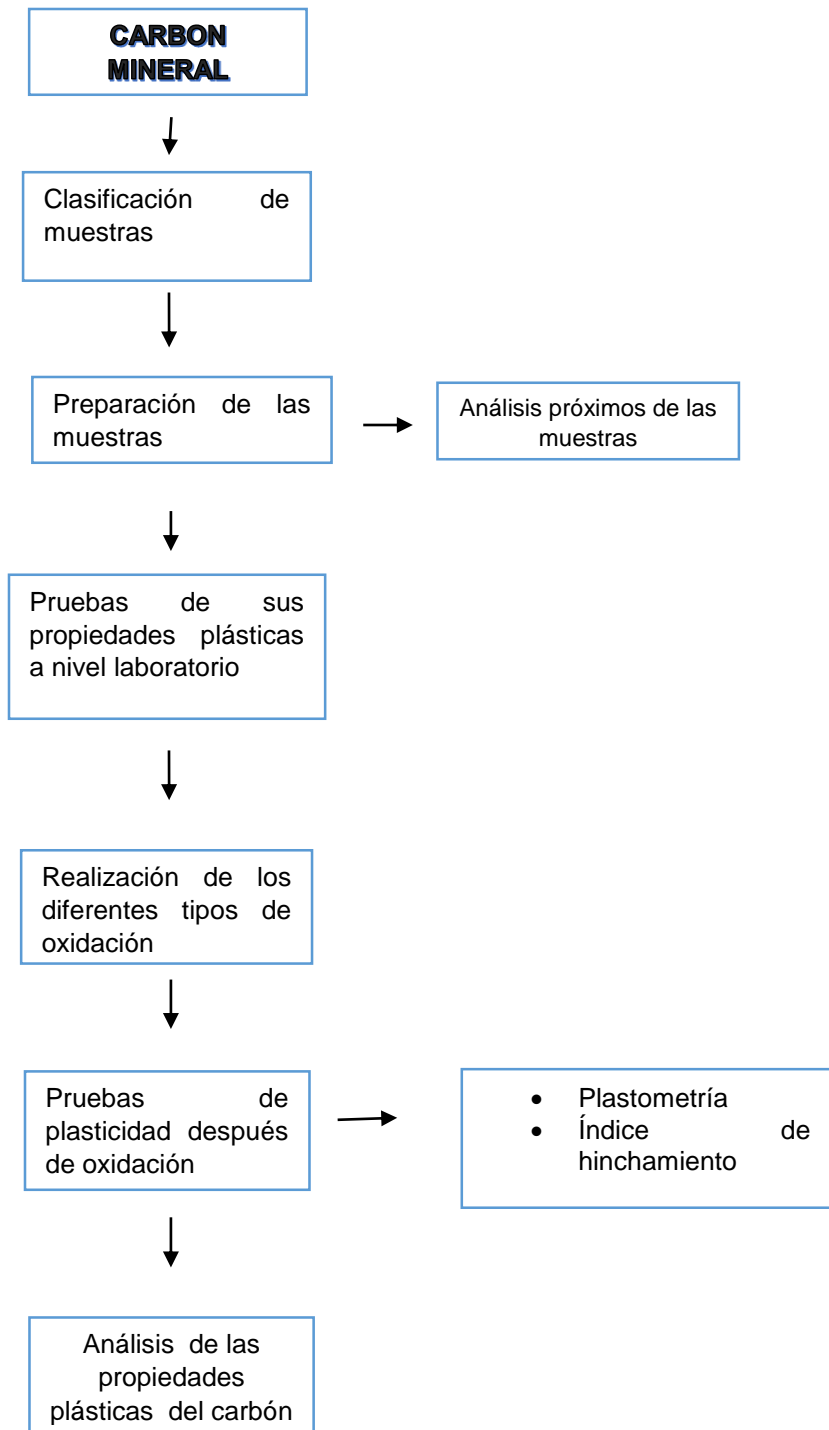
Prueba y análisis de los ensayos de plastometría e índice de hinchamiento.

Procesos de oxidación del carbón; utilizando dos medios principales: Oxidación con aire, oxidación con soluciones alcalinas.

Hacer una comparación de las propiedades plásticas del carbón antes y después con el efecto de oxidación según las normas ASTM: D2639 (plastometría), D720 (FSI).

A continuación se ilustra la metodología adoptada para la realización de este trabajo.

#### 4.1 DISEÑO METODOLOGICO



Fuente. Autor

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1 CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

La caracterización de las muestras se realizó de acuerdo con los procedimientos de las normas ASTM, para análisis carbones y coques.

5.1.1 Muestra y preparación mecánica. Según la NORMA ASTM D2013 y D3302. Son muestras que fueron obtenidas en diferentes lugares y minas.

MINA	CÓDIGO
<b>Samacá</b>	Muestra 1
<b>Ventaquemada</b>	Muestra 2
<b>Samacá</b>	Muestra 3

Fuente: autor

Tabla 4. Tipo de muestra

Se pesa cada una de las muestras almacenadas, luego se completa un formato de caracterización de carbones donde se pone el peso inicial y se realiza el cuarteo.

5.1.2 Pruebas de laboratorio para caracterización de carbones unitarios. Estas pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de carbones y carboquímica de la UPTC –Tunja. En la tabla 5 se presentan las proporciones de carbón unitario utilizados para la caracterización inicial de las materias primas.

MINA	CÓDIGO	PESO EN GRAMOS
<b>Samacá</b>	Muestra 1	302g
<b>Ventaquemada</b>	Muestra 2	160g
<b>Samacá</b>	Muestra 3	209g

Fuente. Autor

Tabla 521. Cantidad de carbones utilizados para la caracterización

- **Cenizas: Norma ASTM D 3174**

**Cálculos según Norma**

$$\% \text{ Ceniza en la muestra de análisis} = [(A - B) / C] \times 100 \text{ [ec.1]}$$

Donde:

A= peso de la capsula, la cubierta, residuo de cenizas.

B= peso de la capsula vacía y cubierta

C= peso de la muestra de análisis utilizado



Fuente: Autor

Figura 2. Mufla para prueba de cenizas

- **Humedad: Norma ASTM D3173**

**Cálculos según norma**

$$\text{Humedad en la muestra \%} = [(A - B) / A] \times 100 \text{ [ec.2]}$$

Donde:

A: gramos de muestra usados

B: Gramos de muestra después del calentamiento



Fuente: Autor

Figura 3. Cámara memmert

- **Materia volátil: Norma ASTM D 3175**

#### Cálculos según norma

$$\% \text{ pérdida de peso} = [(A - B) / A] * 100 \text{ [ec. 3]}$$

$$\text{Materia volátil \%} = C - D \text{ [ec.4]}$$

Donde:

A= Peso de la muestra utilizada

B= Peso de la muestra después del calentamiento

D= Humedad

C= Perdida en peso



Fuente. Autor  
Figura 4. Horno hoskin

### Carbono fijo. Norma ASTM D3172

$$\text{Carbono fijo \%} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ ceniza} + \% \text{ materia volátil}) \text{ [ec.5]}$$

- Índice de hinchamiento libre (Free Swelling Index-FSI) por calentamiento con gas. Norma ASTM D720.

Para poder determinar el índice de hinchamiento según la norma hay que tener en cuenta la Figura 1. Plantilla de comparación de FSI plantilla para poder verificar el índice de cada carbón.



a)



b)

Fuente: Autor  
Figura 5. Equipo para realizar prueba de FSI



## 5.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA OXIDACION FÍSICA DEL CARBON

5.2.1. Preparación mecánica de la muestra. La muestra de carbón es pasada por un proceso de molienda y tamizada con el fin de obtener una granulometría malla 60.

5.2.2. Calentamiento en atmósfera oxidante. El proceso de oxidación se realizó en una cámara Memmert, de clima constante, referencia HPP con un paso del 90% de aire donde se lleva a una temperatura de 200°C durante 24 horas. Ver figura 6. |



Fuente. Autor

Figura 6 muestras para realizar proceso de oxidación física en cámara memmert

## 5.3 PROCEDIMIENTOS PARA LA OXIDACION ALCALINA DEL CARBON

5.3.1. Preparación mecánica de la muestra. La muestra de carbón es pasada por un proceso de molienda y tamizada con el fin de obtener una granulometría malla 60.

5.3.2. Adiciones a la solución oxidante: se mezcla Hidróxido de potasio a una concentración del 80%, en 1ml de H<sub>2</sub>O destilada por 1 gramo de muestra de carbón mineral.



Fuente. Autor

Figura 7 Muestras en proceso de oxidación alcalina

5.3.3 Calentamiento de la muestra a oxidar: Este proceso de oxidación se lleva a cabo a una temperatura de 100 °C durante 3 minutos temperatura constante, agitando una vez por minuto.



Fuente. Autor

Figura 8. Muestra en plancha eléctrica

5.3.4. Determinación del efecto de la oxidación sobre las propiedades del carbón. En la tabla 13, se establece el cambio de las propiedades en los carbones utilizados en el proyecto, Mediante el ensayo de índice de hinchamiento.

**5.4 Determinación de la plasticidad del carbón.** Las propiedades de plasticidad requieren ser analizadas, para lo cual se usan equipos especializados de ensayo bajo protocolos estandarizados como lo es el plastómetro. El principio de operación de este instrumento se fundamenta en el sometimiento del carbón a variaciones de temperatura controlada para determinar su índice de expansión o contracción y su índice de fluidez, fundamentales para identificar la relación de estas características con la oxidación del carbón.



a)



b)

Fuente: Autor  
Figura 9. Equipo Plastómetro.

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.1 ANÁLISIS PRÓXIMOS

#### ✓ Cenizas: Norma ASTM D 3174

En la tabla 3 se presentan los datos usados para poder determinar Cenizas residual de carbones unitarios utilizados en el proyecto.

CÓDIGO	A	B	C	CENIZAS
Muestra 1	17,5826	17,5188	1,0000	6,38%
Muestra 2	13.5310	13.4478	1,0000	9.82%
Muestra 3	13.4981	13.4380	1,0000	5.87%

Fuente. Autor

Tabla 6 Datos y resultados de cenizas

#### ✓ Humedad: Norma ASTM D3173

CÓDIGO	A	B	% Humedad
Muestra 1	1,0000	0,9847	1,55%
Muestra 2	1,0000	0,9755	2,45%
Muestra 3	1,0000	0,9853	1.46%

Fuente. Autor

Tabla 7 Datos y resultados de humedad residual

#### ✓ Materia volátil: Norma ASTM D 3175

En la **tabla 8** se presentan los datos y resultados de los cálculos para determinar materia volátil de los carbones unitarios utilizados en el proyecto.

CÓDIGO	A	B	C	D	MATERIA VOLÁTIL	OBSERVACIONES
Muestra 1	1	0,7181	28,19	1,55	26,64	Medio volátil
Muestra 2	1	0,6259	37,41	2,45	34,96	Alto volátil
Muestra 3	1	0,6535	38,89	1,46	37,43	Alto volátil

Fuente. Autor

Tabla 8 Datos y resultados de Materia volátil

✓ **Carbón fijo. Norma ASTM D3172**

Código	%H	%M.V	%CZ	%C.F	Tipo de carbón
Muestra 1	1,55	26,64	6,38	65,43	Bituminoso medio volátil
Muestra 2	2,45	34,96	9,82	52,77	Bituminoso de alto volátil
Muestra 3	1,46	37,43	5,87	55,24	Bituminoso de alto volátil
PROMEDIO	1,82	33,01	7,35666667	57,8133	

Fuente. Autor

Tabla 9 Datos y resultados de carbono fijo carbones unitarios utilizados en el proyecto.

6.1.1 Índice de hinchamiento libre. Norma ASTM D720.

Código	Índice de hinchamiento
Muestra 1	3.5
Muestra 2	2,5
Muestra 3	3
PROMEDIO	3

Fuente. Autor

Tabla 10 Datos y resultados de índice de hinchamiento de los carbones unitarios utilizados en el proyecto.

<b>Código</b>	<b>%H</b>	<b>M.V</b>	<b>CZ</b>	<b>C.F</b>	<b>FSI</b>	<b>Tipo de carbón</b>
<b>Muestra 1</b>	1,55	26,64	6,38	65,43	3 1/2	Bituminoso medio volátil
<b>Muestra 2</b>	2,45	34,96	9,82	52,77	2 1/2	Bituminoso de alto volátil
<b>Muestra 3</b>	1,46	37,43	5,87	55,24	3	Bituminoso de alto volátil

Fuente. Autor

Tabla 11 Resultados finales de la caracterización del carbón

#### 6.1.2 Ensayo de plastometría para el carbón sin oxidar

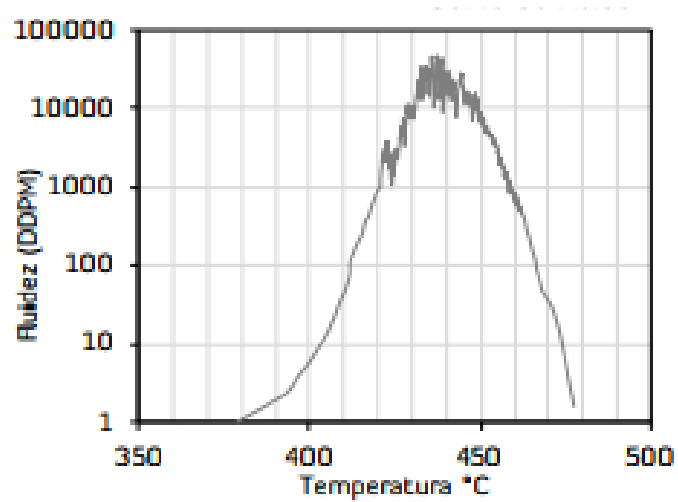
A continuación los datos que se obtuvieron en el plastómetro, después de preparar la muestra a una malla 40 como lo indica la norma ASTM D 2639. (Anexo 1)

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
<b>Temperatura de ablandamiento inicial (°C)</b>	379	407	421
<b>Temperatura de solidificación (°C)</b>	484	461	595
<b>Rango Plástico (°C)</b>	105	54	174
<b>Temperatura de máxima fluidez (°C)</b>	438	437	463
<b>Fluidez Máxima (DDPM)</b>	28486	10	52
<b>Log 10 fluidez máxima</b>	4.45	1.00	172

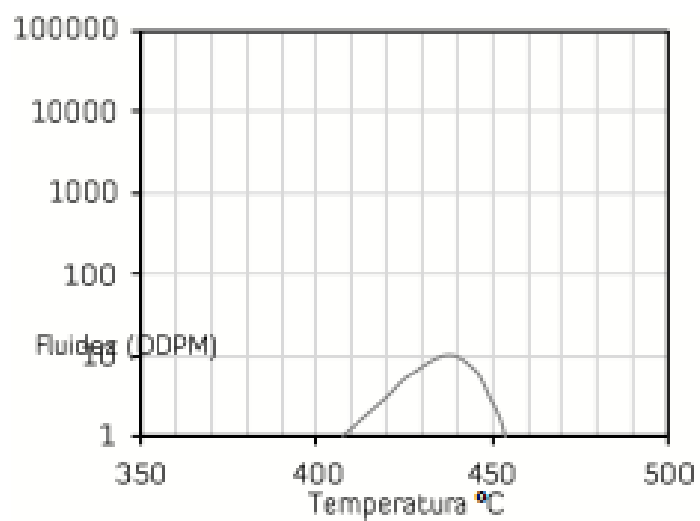
Fuente. CDT MINERAL SAS

Tabla 12 datos ensayo de plastometría para el carbón sin oxidar

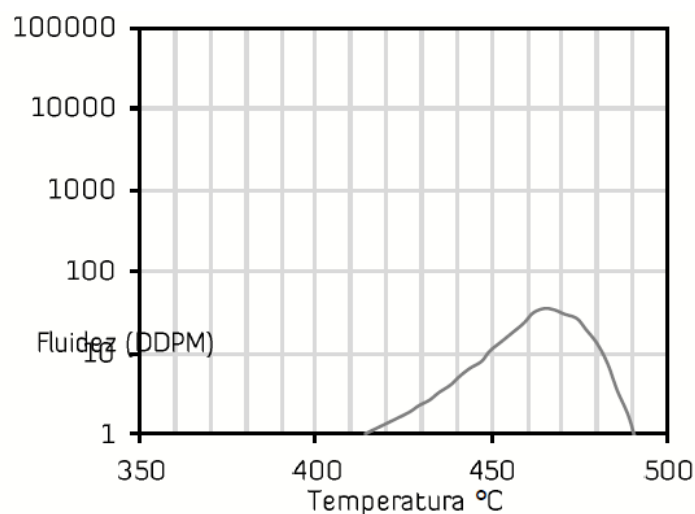
Según los datos mostrados en la tabla 12 se realizó una curva de fluidez para poder comparar posteriormente el efecto de la oxidación en cuanto sus propiedades plásticas



Fuente. CDT MINERAL SAS  
 Grafica 2 Curva de Fluidez M1



Fuente. CDT MINERAL SAS  
 Grafica 3 Curva de Fluidez M2



Fuente. CDT MINERAL SAS  
Gráfica 4 Curva de Fluidez M3

DDPM. Divisiones del dial por minuto. Aumento de temperatura 3°C/min. Indicador de decimal: punto (.). La preparación de la muestra fue realizada según norma D2013/D2013M-12 y ASTM D2639/D2639M-13

## 6.2 RESULTADOS OXIDACIÓN FÍSICA

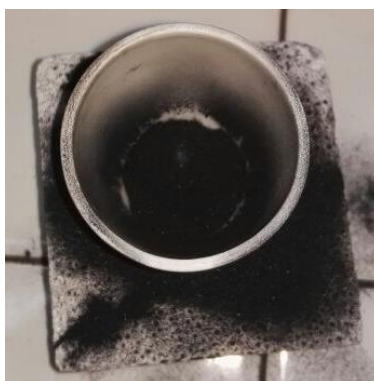
En la **tabla 13**, se establece el cambio de las propiedades plásticas en los carbones utilizados en el proyecto, Mediante el ensayo de índice de hinchamiento.

CODIGO	FSI DE LA MUESTRA SIN OXIDAR	FSI DE LA MUESTRA OXIDADA	DIFERENCIA DE FSI
Muestra 1	3.5	0	Variación en las propiedades plásticas
Muestra 2	2.5	0	Variación en las propiedades plásticas
Muestra 3	3	0	Variación en las propiedades plásticas

Fuente. Autor

Tabla 13 Resultado prueba de FSI Cambio de las propiedades antes y después de la oxidación





Fuente. Autor

Figura 10 Muestra después del proceso de oxidación física

En la tabla 13 se puede observar que la oxidación fue efectiva debido que al realizar posteriormente la prueba de FSI vario en un 100% los resultados; pasando drásticamente de un 3.5 a cero como se muestra en la figura 9 el carbón no se logró aglomerar en el tiempo establecido según la norma ASTM D 720

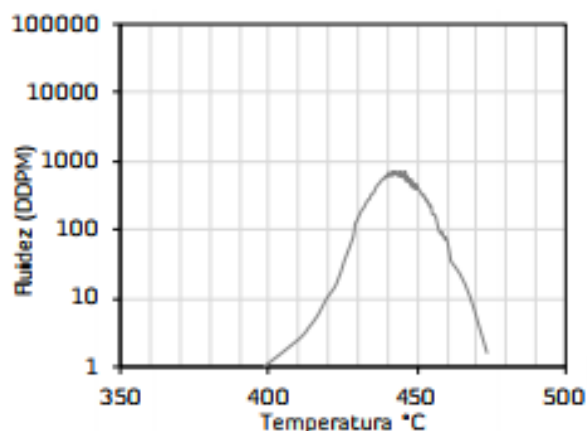
#### 6.2.1 Ensayo de plastometría para el carbón con oxidación por Aire

A continuación los datos que se obtuvieron en el plastómetro, después de preparar la muestra a una malla 40 como lo indica la norma ASTM D 2639 (anexo 2)

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
<b>Temperatura de ablandamiento inicial (°C)</b>	398	422	430
<b>Temperatura de solidificación (°C)</b>	479	599	487
<b>Rango Plástico (°C)</b>	81	177	57
<b>Temperatura de máxima fluidez (°C)</b>	444	549	466
<b>Fluidez Máxima (DDPM)</b>	650	0.283	4
<b>Log 10 fluidez máxima</b>	2.81	4.69	0,60

Fuente. CDT Mineral SAS

Tabla 14 Datos del ensayo de plastometría para carbón con oxidación física



Fuente. CDT Mineral SAS  
 Grafica 5 Oxidación física M1

Podemos evaluar que la oxidación por Aire influye en las propiedades plásticas del carbón, no la destruye en su totalidad pero si en un gran porcentaje además podemos observar que el rango plástico disminuyo en un 68,3 % y la fluidez es muy mínima, por lo cual no se pudo sacar una curva de fluidez de las muestras dos y tres en esta prueba de plastometría.

### 6.3 RESULTADOS OXIDACION ALCALINA

En la **tabla 15**, se establece el cambio de las propiedades plásticas en los carbones utilizados en el proyecto, Mediante el ensayo de índice de hinchamiento.

CODIGO	FSI DE LA MUESTRA SIN OXIDAR	FSI DE LA MUESTRA OXIDADA	DIFERENCIA DE FSI
<b>Muestra 1</b>	3.5	0	Variación en las propiedades plásticas
<b>Muestra 2</b>	2.5	0	Variación en las propiedades plásticas
<b>Muestra 3</b>	3	0	Variación en las propiedades plásticas

Fuente. Autor

Tabla 15 Cambio de las propiedades antes y después de la oxidación

En la tabla 15 se puede observar que la oxidación fue efectiva debido que al realizar posteriormente la prueba de FSI vario en un 100% los resultados; pasando de un

3.5 a cero; no se alcanzó a aglomerar el carbón en el tiempo establecido según norma ASTM D 720.

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
<b>Temperatura de ablandamiento inicial (°C)</b>	369	0	0
<b>Temperatura de solidificación (°C)</b>	412	0	0
<b>Rango Plástico (°C)</b>	43	0	0
<b>Temperatura de máxima fluidez (°C)</b>	440	0	0
<b>Fluidez Máxima (DDPM)</b>	12	0	0
<b>Log 10 fluidez máxima</b>	1.54	0	0

Fuente. Autor

Tabla 16 Datos del ensayo de plastometría para carbón con oxidación alcalina

Como se puede observar en la **tabla 16** según los datos anteriores obtenidos en la prueba de plastometría, la oxidación alcalina es aún más fuerte que la física debido a que todos los valores dieron un valor de cero lo que da por entendido que la plasticidad del carbón es nula. (Anexo 3).

#### 6.4 Análisis de las muestras

	M1	M1 OX F	M1 OX B
<b>Temperatura de ablandamiento inicial (°C)</b>	379	398	369
<b>Temperatura de solidificación (°C)</b>	484	479	412
<b>Rango Plástico (°C)</b>	105	81	43
<b>Temperatura de máxima fluidez (°C)</b>	438	444	440
<b>Fluidez Máxima (DDPM)</b>	28486	650	12
<b>Log 10 fluidez máxima</b>	4.45	2.81	1.54

Fuente. Autor

Tabla 17 Comparación de las oxidaciones M1

Al observar los resultados de la tabla anterior que corresponden a la M1, se dice que la oxidación alcalina influye prácticamente en un 100% en las propiedades plásticas del carbón, en cambio la oxidación por Aire también influye negativamente en las propiedades plásticas pero no las elimina del todo. Se utiliza un carbón coquizable con el fin de poder observar mejor el comportamiento de la oxidación y así poder realizar una buena interpretación de los datos.

	<b>M2</b>	<b>M2 OX F</b>	<b>M2 OX B</b>
<b>Temperatura de ablandamiento inicial (°C)</b>	407	380	0
<b>Temperatura de solidificación (°C)</b>	461	411	0
<b>Rango Plástico (°C)</b>	54	31	0
<b>Temperatura de máxima fluidez (°C)</b>	437	407	0
<b>Fluidez Máxima (DDPM)</b>	10	0.283	0
<b>Log 10 fluidez máxima</b>	1.00	1.00	0

Fuente. Autor

Tabla 18 Comparación de las oxidaciones M2

Según los datos obtenidos en la tabla 18 que corresponden a la muestra dos el grado de oxidación como se venía diciendo en la muestra uno, es menor con la oxidación física. Observando que la oxidación física será mejor para no eliminar del todo las propiedades plásticas del mineral

	<b>M3</b>	<b>M3 OX F</b>	<b>M3 OX B</b>
<b>Temperatura de ablandamiento inicial (°C)</b>	421	430	0
<b>Temperatura de solidificación (°C)</b>	595	487	0
<b>Rango Plástico (°C)</b>	174	57	0
<b>Temperatura de máxima fluidez (°C)</b>	463	466	0
<b>Fluidez Máxima (DDPM)</b>	52	4	0
<b>Log 10 fluidez máxima</b>	172	0,6	0

Fuente. Autor

Tabla 19 Comparación de las oxidaciones M3

Según los resultados de la muestra tres, se pudo observar que el grado de oxidación física es menor a la básica puesto que la fluidez máxima antes de las oxidaciones es de 52 DDPM, al aplicar la oxidación física bajo su fluidez a un máximo de 4 DDPM, bajo un 92,3% y en cuanto a la oxidación básica la muestra bajo sus propiedades plásticas en su totalidad, lo que es más factible la oxidación física para no perder en su totalidad las propiedades plásticas para su proceso ya sea de coquización o pirolisis.

## 7. CONCLUSIONES

- ✓ Se puede concluir que la oxidación física y la oxidación alcalina afectan negativamente las propiedades plásticas del carbón.
- ✓ Las muestras de carbón se clasifican según norma ASTM D 388 para la muestra uno como bituminoso medio volátil, muestra dos bituminoso alto volátil, y muestra tres bituminosos altos volátiles debido a su contenido de volátiles y su poder calorífico.
- ✓ La oxidación física afecta en menor proporción al carbón que la oxidación alcalina, y que la oxidación alcalina elimino en su totalidad las propiedades plásticas del carbón, es decir, la oxidación básica es más agresiva que la oxidación física.
- ✓ Los resultados de fluidez máxima basados en las pruebas de plastometría fueron: 28456 DDPM con respecto a la oxidación física 650 DDPM y la oxidación alcalina 12 DDPM en la muestra uno; 10 DDPM con respecto a la oxidación física 0,283 DDPM y la oxidación alcalina cero DDPM en la muestra dos, 52 DDPM con respecto a la oxidación física 4 DDPM y la oxidación alcalina cero DDPM en la muestra tres.
- ✓ La exposición del carbón al continuo cambio del medio ambiente, también lo afecta y acelera su proceso de oxidación, lo cual se identificó cuando con la muestra de carbón M2 Y M3, arrojan un FSI 7 después de salida de la mina y al analizar las muestras posteriores al almacenamiento las propiedades variaron de 3 y 2.5.

## 8. RECOMENDACIONES

- ✓ Mantener la muestra lo más posible libre de contacto a cambios ambientales debido a que el carbón es susceptible a producir oxidación
- ✓ Trabajar la oxidación alcalina a distintas concentraciones de Hidróxido de potasio y también con otras soluciones como alcalinas de hipoclorito, hipobromito, dicromato de sodio, y permanganato
- ✓ Utilizar equipos especializados para poder comparar y medir las propiedades plásticas. Uno de estos equipos es el dilatómetro
- ✓ En cuanto al proceso de almacenamiento se recomienda consumir rápido el carbón ya que este tiende a oxidarse a gran velocidad

## 9. ANEXOS

**MINA:** Carlos Sierra

**Código:** Muestra #1

Análisis inmediatos

Preparación de muestras – Norma ASTM D 2013 1.1.1

Cuarteo

**PESO MUESTRA INICIAL:** 39550 Gramos

**PESO DE MUESTRA INICIAL (g):** 305,422

**PESO DE MUESTRA FINAL (g):** 302, 8708

N°	Cuardeos (g)	Peso muestra (g)	Peso contra muestra(g)	Perdidas (g)	Perdidas de peso %
1	39550	18375	20975	200	0,50
2	17070	9370	6990	710	4,1
3	9330	4270	5040	20	0,21
4	4270	2465	1800	5	0,11
5	2465	1275	1185	5	0,2
6	1270	610	660	0	0
7	610	305	305	0	0

**Anexo 1** Cuarteo M1



**MINA:** Aníbal Muñoz

**Código:** Muestra #2

Análisis inmediatos

Preparación de muestras – Norma ASTM D 2013

Cuarteo

**PESO MUESTRA INICIAL:** 33450 Gramos

**PESO DE MUESTRA INICIAL (g):** 162, 0679

**PESO DE MUESTRA FINAL (g):** 160,5674

N°	Cuardeos (g)	Peso muestra (g)	Peso contra muestra(g)	Perdidas (g)	Perdidas de peso %
1	33440	17005	16525	90	0,26
2	16640	8920	7695	25	0,15
3	8920	3285	5625	10	0,11
4	3285	1415	1840	30	0,91
5	1415	810	600	5	0,3533
6	815	300	510	5	0,61
7	300	160	140	0	0

**Anexo 2** Cuarteo M2

**MINA:** Inocencio Grijalva  
 Análisis inmediatos  
 Preparación de muestras – Norma ASTM D 2013  
 Cuarteo

**Código:** Muestra #3

**PESO MUESTRA INICIAL:** 35000 Gramos

**PESO DE MUESTRA INICIAL (g):** 211.2735

**PESO DE MUESTRA FINAL (g):** 209.3578

N°	Cuarteos (g)	Peso muestra (g)	Peso contra muestra(g)	Perdidas (g)	Perdidas de peso %
1	35000	14060	18690	2250	6.42
2	14060	6185	7645	230	1.63
3	6185	3455	2720	10	0.16
4	3455	1510	1930	15	0.04
5	1510	720	740	50	3.31
6	720	410	310	0	0
7	410	205	190	15	3.65

**Anexo 3 Cuarteo M3**

## INFORME DE ANÁLISIS

N°.CDT-IA-5105

ANÁLISIS SOLICITADO POR: JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ  
CRA 15 9A 51 TUNJA

ORDEN DE SERVICIO N°. 2482

TIPO DE MATERIAL: Carbón

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 17-10-17 08:44 AM

FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 27-10-17 10:55 AM

OBSERVACIONES DEL CLIENTE: NINGUNA

OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: NINGUNA

CÓDIGO EXTERNO: M1 NORMAL

CÓDIGO INTERNO: COT6807

ANÁLISIS DE PLASTOMETRÍA (GIESELER PLASTOMETER) ASTM D2639/ D 2639M-13

Temperatura de Ablandamiento Inicial	379 °C
Temperatura de Solidificación	484 °C
Rango Plástico	105 °C
Temperatura de Máxima Fluidez	438 °C
Fluidez Máxima	28486 DDPM
Log <sub>10</sub> Fluidez Máxima	4.45



DDPM = División del dial por minuto. Aumento de temperatura 3 °C/min. Indicador de decimal punto (.). La preparación de la muestra fue realizada según norma ASTM D2013/D2013M-12 y ASTM D2639/D 2639M-13

CDT MINERAL está acreditada por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA (ONAC) y conforme a los requerimientos de ISO/IEC 17025:2005 para los análisis especificados en el alcance de la acreditación código 14-LAB-051 en la página web (<http://www.onac.org.co>).

Sogamoso, Colombia  
Octubre 27 de 2017

Elaboró:

Lina M. Molano  
Química Profesional  
M.P.Q.-3949  
Jefe Técnico

Revisó:

Sandra Manosalva  
M.Sc.c.Ph.D.Materiales  
M.P.CPG-2140  
Gerente General

Nota: Si el informe original contiene la firma y sello del laboratorio, las consultas sobre la validez de este informe de análisis podrán ser enviadas al correo [tecnico@cdtmineral.com](mailto:tecnico@cdtmineral.com).  
Nota: Los resultados de análisis deben validarse con referencia única y exclusiva sobre la muestra que fue recibida en el laboratorio. El tipo de material ha sido refinenciado por el cliente. La(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos reportados en este informe ha(s) sido proporcionado(s) por el Cliente o un tercero de conformidad a las directrices del Cliente. CDT MINERAL no es responsable del origen o fuente de donde ha(s) sido suministrado(s) la(s) muestra(s).

Nota: Se prohíbe la reproducción o la modificación de este documento sin la autorización expresa del laboratorio. Cualquier alteración del contenido de este documento y/o reproducción, excepto en su totalidad, está sujeta a las cláusulas comerciales, en sus condiciones generales de servicio dadas a conocer durante la solicitud y prestación del servicio, en los documentos de cotización y orden de servicio emitidos por CDT MINERAL.

FIN DEL INFORME

PBX: (57 8) 7738179 / 314 203 11 47  
[www.cdtmineral.com](http://www.cdtmineral.com)  
[info@cdtmineral.com](mailto:info@cdtmineral.com)  
[gerencia@cdtmineral.com](mailto:gerencia@cdtmineral.com)  
Carrera 23 No. 10 - 37 Sogamoso - Boyacá - Colombia

CDT MINERAL creado con el apoyo de



## Anexo 4 INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M1

## INFORME DE ANÁLISIS

N°.CDT-IA-5108

ANÁLISIS SOLICITADO POR: JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ  
CRA 15 9A 51 TUNJA

ORDEN DE SERVICIO N°. 2482

TIPO DE MATERIAL: Carbón

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 17-10-17 08:44 AM

FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 27-10-17 11:21 AM

OBSERVACIONES DEL CLIENTE: NINGUNA

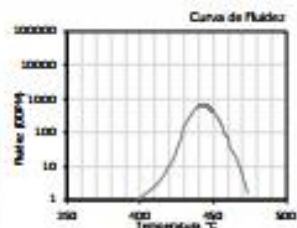
OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: NINGUNA

CÓDIGO EXTERNO: M1 OXIDACION POR AIRE

CÓDIGO INTERNO: COT6804

### ANÁLISIS DE PLASTOMETRÍA (GIESELER PLASTOMETER) ASTM D2639/ D 2639M-13

Temperatura de Ablandamiento Inicial	398 °C
Temperatura de Solidificación	479 °C
Rango Plástico	81 °C
Temperatura de Máxima Fluides	444 °C
Fluides Máxima	650 DDPM
Logjo Fluides Máxima	2.81



DDPM = Divisiones del dial por minuto. Aumento de temperatura 3 °C/min. Indicador de decimal punto (1). La preparación de la muestra fue realizada según norma ASTM D2013/D2013M-12 y ASTM D2639/D 2639M-13

\*CDT MINERAL está acreditado por el ORGANISMO NACIONAL DE Acreditación de COLOMBIA (ONAC) y conforme a los requerimientos de ISO/IEC-17025:2005 para los análisis especificados en el alcance de la acreditación código 04-LAB-061 en la página web (<http://www.onac.org.co>).

Sogamoso, Colombia  
Octubre 27 de 2017

Elaboró: Lina M. Molano  
Química Profesional  
M.P.PQ-3949  
Jefe Técnico

Revisó: Sandra Manosalva  
M.Sc.c.Ph.D.Materiales  
M.P.CPG-2140  
Gerente General

Nota: El informe original contiene la firma y sello del laboratorio. Las consultas sobre la validez de este informe de análisis podrán ser enviadas al correo [tecnico@cdtmineral.com](mailto:tecnico@cdtmineral.com) hasta 30 días hábiles desde la emisión del informe. El cliente es responsable de la muestra que fue recibida en el laboratorio. El tipo de material ha sido informado por el cliente. Los resultados de los análisis que se refieren los datos reportados en este informe han sido proporcionados por el Cliente o un tercero de conformidad a las directrices del Cliente. CDT MINERAL no es responsable del origen o fuente de donde haya sido extraída la muestra. Nota: Se está prohibido en la aprobación escrita del laboratorio, cualquier alteración del contenido de este documento y/o reproducción, excepto en su totalidad. Nota: En el ANEXO CLÁUSULAS COMERCIALES, se establecen las demás condiciones generales del servicio dadas a conocer durante la solicitud y prestación del servicio, en los documentos de cotización y orden de servicio emitidos por CDT MINERAL.

FIN DEL INFORME

PBX: (57 8) 7738179 / 314 203 11 47

[www.cdtmineral.com](http://www.cdtmineral.com)

[info@cdtmineral.com](mailto:info@cdtmineral.com)

[gerencia@cdtmineral.com](mailto:gerencia@cdtmineral.com)

Carrera 23 No. 10 - 37 Sogamoso - Boyacá - Colombia

CDT MINERAL creado con el apoyo de



## Anexo 5 INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M1 OX. FISICA

# INFORME DE ANÁLISIS

**N°.CDT-IA-5109**

ANÁLISIS SOLICITADO POR: **JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ**  
**CRA 15 9A 51 TUNJA**

ORDEN DE SERVICIO N°. 2482

TIPO DE MATERIAL: Carbón

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 17-10-17 08:44 AM

FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 27-10-17 11:57 AM

OBSERVACIONES DEL CLIENTE: NINGUNA

OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: NINGUNA

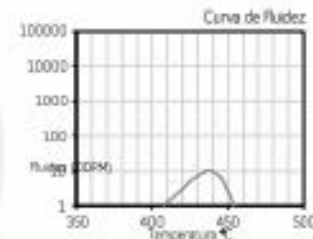
**CÓDIGO EXTERNO: M2 # MALLA 60**
**CÓDIGO INTERNO: CDT6808**

## ANÁLISIS DE PLASTOMETRÍA (GVESELER PLASTOMETER) ASTM D2639/ D 2639M-13

Temperatura de Ablandamiento Inicial	407 °C
Temperatura de Solidificación	461 °C
Rango Plástico	54 °C
Temperatura de Máxima Fluidez	437 °C
Fluidez Máxima	10 DOPM
Log <sub>10</sub> Fluidez Máxima	1.00

DOPM = Divisiones del dial por minuto. Aumento de temperatura 3 °C/min. Indicador de decimal punto (.). La preparación de la muestra fue realizada según norma ASTM D2013/D2013M-12 y ASTM D2639/D 2639M-13.

"CDT MINERAL" está acreditado por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA (ONAC) y conforme a los requerimientos de ISO/IEC-17025:2005 para los análisis especificados en el alcance de la acreditación código 14-LAB-061 en la página web: (<http://www.onac.org.co>).


Sogamoso, Colombia  
Octubre 27 de 2017

Elaboró: **Lina M. Molano**  
Química Profesional  
M.PPQ-3949  
Jefe Técnico

Revisó: **Sandra Manosalva**  
M.Sc.c.Ph.D.Materiales  
M.P.CPG-2140  
Gerente General

Nota 1: El informe original contiene la firma y sello del laboratorio. Las consultas sobre la validez de este informe de análisis podrán ser enviadas al correo: [tecnica@cdtmineral.com](mailto:tecnica@cdtmineral.com)  
Nota 2: Los resultados de análisis tienen validez con referencia única y exclusiva sobre la muestra que fue recibida en el laboratorio. El tipo de material ha sido referenciado por el cliente. La(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos reportados en este informe fue(n) solo preparada(s) por el Cliente o un tercero de conformidad a las directrices del Cliente. CDT MINERAL no es responsable del origen o fuente de donde fue(n) solo extraída(s) la(s) muestra(s).  
Nota 3: Está prohibido sin la aprobación escrita del laboratorio, cualquier alteración del contenido de este documento y/o reproducción, excepto en su totalidad.  
Nota 4: En el AMBITO EMPRESARIAL COMERCIAL, se establecen las demás condiciones generales del servicio dadas a conocer durante la solicitud y prestación del servicio, en los documentos de cotización y orden de servicio emitidos por CDT MINERAL.

**FIN DEL INFORME**

PBX: (57 8) 7738179 / 314 203 11 47

[www.cdtmineral.com](http://www.cdtmineral.com)
[info@cdtmineral.com](mailto:info@cdtmineral.com)
[gerencia@cdtmineral.com](mailto:gerencia@cdtmineral.com)

Carrera 23 No. 10 - 37 Sogamoso - Boyacá - Colombia

CDT MINERAL creado con el apoyo de



## Anexo 6 INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M2

## INFORME DE ANÁLISIS

Nº.CDT-IA-5085

ANÁLISIS SOLICITADO POR: **JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ**  
**CRA 15 9A 51 TUNJA**

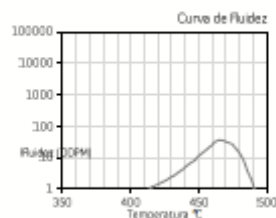
ORDEN DE SERVICIO N°. 2482  
TIPO DE MATERIAL: Carbón  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 17-10-17 08:44 AM  
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 25-10-17 06:56 PM  
OBSERVACIONES DEL CUENTE: NINGUNA  
OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: NINGUNA

CÓDIGO EXTERNO: IM # 3 P  
CÓDIGO INTERNO: CDT6809

### ANÁLISIS DE PLASTOMETRÍA (GIESELER PLASTOMETER) ASTM D2639/ D 2639M-13

Temperatura de Ablandamiento Inicial	421 °C
Temperatura de Solidificación	595 °C
Rango Plástico	174 °C
Temperatura de Máxima Fluidéz	463 °C
Fluidéz Máxima	52 DDPM
Log <sub>10</sub> Fluidéz Máxima	1.72

DDPM = Oveiones del dól por minuto. Aumento de temperatura 3 °C/min. Indicador de decimal punto (.). La preparación de la muestra fue realizada según norma ASTM D2013/D2013M-12 y ASTM D2639/D 2639M-13



"CDT MINERAL" está acreditado por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA (ONAC) y conforme a los requerimientos de ISO/IEC- 17025:2005 para los análisis especificados en el alcance de la acreditación código 14-LAB-061 en la página web (<http://www.onac.org.co>).

Sogamoso, Colombia  
Octubre 25 de 2017

Elaboró: Elena M. Molano  
Química Profesional  
IM.P/PQ-3949  
Jefe Técnico

Revisó: Sandra Manosalva  
M.Sc.c.Ph.D. Materiales  
IM.P/ICPG-2140  
Gerente General

Nota 1: El informe original contiene la firma y sello del laboratorio. Las consultas sobre la validez de este informe de análisis podrán ser enviadas al correo: [tecnico@cdtmineral.com](mailto:tecnico@cdtmineral.com)  
Nota 2: Los resultados de análisis tienen validez con referencia única y exclusiva sobre la muestra que fue recibida en el laboratorio. El tipo de material ha sido referenciado por el cliente. La(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos reportados en este informe ha(n) sido proporcionados por el Cliente o un tercero de conformidad a las directrices del Cliente. CDT MINERAL no es responsable del origen o fuente de donde ha(n) sido extraído(s) la(s) muestra(s).  
Nota 3: Está prohibida sin la aprobación escrita del laboratorio, cualquier alteración del contenido de este documento y/o reproducción, excepto en su totalidad.  
Nota 4: En el ANEXO CUATRO COMERCIALES, se establecen las demás condiciones generales del servicio dadas a conocer durante la solicitud y prestación del servicio, en los documentos de cotización y orden de servicio emitidos por CDT MINERAL.

FIN DEL INFORME

FAX: (57 8) 7738170 / 314 203 11 47  
[www.cdtmineral.com](http://www.cdtmineral.com)  
[info@cdtmineral.com](mailto:info@cdtmineral.com)  
[gerencia@cdtmineral.com](mailto:gerencia@cdtmineral.com)  
Carrera. 23 No. 10 - 37 Sogamoso - Boyacá - Colombia

CDT MINERAL creado con el apoyo de



## Anexo 7 INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M3.





Centro de Desarrollo Tecnológico Minero Energético SAS

Nit: 900543165 - 1

Página 1 de 1

## INFORME DE ANÁLISIS

Nº.CDT-IA-5087

ANÁLISIS SOLICITADO POR: **JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ**  
**CRA 15 9A 51 TUNJA**

ORDEN DE SERVICIO N°. 2482

TIPO DE MATERIAL: Carbón

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 17-10-17 08:44 AM

FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 25-10-17 07:02 PM

OBSERVACIONES DEL CLIENTE: NINGUNA

OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: NINGUNA

**CÓDIGO EXTERNO: MUESTRA 3 OXIDACION POR AIRE**

CÓDIGO INTERNO: CDT6806

ANÁLISIS DE PLASTOMETRÍA (GIESELER PLASTOMETER) ASTM D2639/ D 2639M-13

Temperatura de Ablandamiento Inicial	430 °C
Temperatura de Solidificación	487 °C
Rango Plástico	57 °C
Temperatura de Máxima Fluidéz	466 °C
Fluidéz Máxima	4 DOPM
Log <sub>10</sub> Fluidéz Máxima	0.60

"CDT MINERAL está acreditado por el ORGANISMO NACIONAL DE Acreditación de COLOMBIA (ONAC) y conforme a los requerimientos de ISO/IEC- 17025:2005 para los análisis especificados en el alcance de la acreditación código 14-LAB-061 en la página web (<http://www.onac.org.co>).

Sogamoso, Colombia  
Octubre 25 de 2017

Elaboró: **Lina M. Molano**  
Química Profesional  
M.P.PQ-3949  
Jefe Técnico

Revisó: **Sandra Manosalva**  
M.Sc.c.Ph.D. Materiales  
M.P.CPG-2140  
Gerente General

Nota 1: El informe original contiene la firma y sello del laboratorio. Las consultas sobre la validez de este informe de análisis podrán ser enviadas al correo [tecnic@cdtmineral.com](mailto:tecnic@cdtmineral.com)  
Nota 2: Los resultados de análisis tienen validez con referencia única y exclusiva sobre la muestra que fue recibida en el laboratorio. El tipo de material ha sido referenciado por el cliente. La(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos reportados en este informe ha(n) sido proporcionada(s) por el Cliente o un tercero de conformidad a las directrices del Cliente. CDT MINERAL no es responsable del origen o fuente de donde ha(n) sido extraída(s) la(s) muestra(s).  
Nota 3: Está prohibida sin la aprobación escrita del laboratorio, cualquier alteración del contenido de este documento y/o reproducción, excepto en su totalidad.  
Nota 4: En el ANEXO, CLÁUSULAS COMERCIALES, se establecen las demás condiciones generales del servicio dadas a conocer durante la solicitud y prestación del servicio, en los documentos de cotización y orden de servicio emitidos por CDT MINERAL.

FIN DEL INFORME

PBX: (57 8) 7738179 / 314 203 11 47

[www.cdtmineral.com](http://www.cdtmineral.com)

[info@cdtmineral.com](mailto:info@cdtmineral.com)

[gerencia@cdtmineral.com](mailto:gerencia@cdtmineral.com)

Carrera. 23 No. 10 - 37 Sogamoso - Boyacá - Colombia

CDT MINERAL creado con el apoyo de



### Anexo 8 INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M3 OX. FISICA



Centro de Desarrollo Tecnológico Minero Energético SAS

Nit: 900543165 - 1

Página 1 de 1

## INFORME DE ANÁLISIS

Nº.CDT-IA-5086

ANÁLISIS SOLICITADO POR: **JONATHAN EDUARDO BARRERA RODRIGUEZ**  
**CRA 15 9A 51 TUNJA**

ORDEN DE SERVICIO N°. 2500

TIPO DE MATERIAL: Carbón

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 24-10-17 01:53 PM

FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 25-10-17 06:59 PM

OBSERVACIONES DEL CLIENTE: NINGUNA

OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: NINGUNA

CÓDIGO EXTERNO: M3 OX B

CÓDIGO INTERNO: CDT6861

ANÁLISIS DE PLASTOMETRÍA (GIESELER PLASTOMETER) ASTM D2639/ D 2639M-13

Temperatura de Ablandamiento Inicial	10 °C
Temperatura de Solidificación	10 °C
Rango Plástico	10 °C
Temperatura de Máxima Fluidéz	10 °C
Fluidéz Máxima	10 DDPM
Log <sub>10</sub> Fluidéz Máxima	0.00

DDPM = Divisiones del dial por minuto. Aumento de temperatura 3 °C/min. Indicador de decimal punto (.). La preparación de la muestra fue realizada según norma ASTM D2013/D2013M-12 y ASTM D2639/D 2639M-13

"CDT MINERAL" está acreditado por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA (ONAC) y conforme a los requerimientos de ISO/IEC- 17025:2005 para los análisis especificados en el alcance de la acreditación código 14-LAB-061 en la página web ( <http://www.onac.org.co> )

Sogamoso, Colombia  
10 octubre 25 de 2017

Elaboró: Lina M. Molano  
Química Profesional  
M.P.P.Q-3949  
Jefe Técnico

Revisó: Sandra Manosalva  
M.Sc.c.Ph.D. Materiales  
M.P.CPG-2140  
Gerente General

Nota 1: El informe original contiene la firma y sello del laboratorio. Las consultas sobre la validez de este informe de análisis podrán ser enviadas al correo: [tecniciad@cdtmineral.com](mailto:tecniciad@cdtmineral.com)

Nota 2: Los resultados de análisis tienen validez con referencia única y exclusiva sobre la muestra que fue recibida en el laboratorio. El tipo de material ha sido referenciado por el cliente. Lab(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos reportados en este informe ha(y) sido proporcionado(s) por el Cliente o un tercero de conformidad a las directrices del Cliente. CDT MINERAL no es responsable del origen o fuente de donde ha(y) sido extraído(s) la(s) muestra(s).

Nota 3: Está prohibido sin la aprobación escrita del laboratorio, cualquier alteración del contenido de este documento y/o reproducción, excepto en su totalidad.

Nota 4: En el ANEXO CLÁUSULAS COMERCIALES, se establecen las demás condiciones generales del servicio dadas a conocer durante la solicitud y prestación del servicio, en los documentos de cotización y orden de servicio emitidos por CDT MINERAL.

FIN DEL INFORME

PBX: (57 8) 7738179 / 334 203 11 47

[www.cdtmineral.com](http://www.cdtmineral.com)

[info@cdtmineral.com](mailto:info@cdtmineral.com)

[gerencia@cdtmineral.com](mailto:gerencia@cdtmineral.com)

Carrera. 23 No. 10 - 37 Sogamoso - Boyacá - Colombia

CDT MINERAL creado con el apoyo de



### Anexo 9 INFORME DE RESULTADOS DEL PLASTOMETRO M3 OX. BASICA



## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrowaste. *Agrowaste.eu 2013*. "en línea" Obtenido de Agrowaste.eu. disponible en internet <URL: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>>2015. p. 1.
2. ALARCÓN German. Efecto de los parámetros reológicos y petrográficos del carbón en la calidad del coque metalúrgico "en línea" disponible en internet <URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4351/1/197444.2011.pdf>>2011. p. 5
3. Ardila, M. (10 de febrero de 2015). *Carbones y Coques*. Obtenido de Carbones y Coques: <https://steelgood.files.wordpress.com/2013/05/cartilla-carbones-y-coques.pdf>
4. ASTM D388 - 05, Standard Classification of Coals by Rank. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 1 9428 - 2959 USA(2005)
5. ASTM. Designation: D 720. Standard Test Method for Free-Swelling Index of Coal. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2010
6. ASTM Designation: D 2013. Standard Method of Preparing Coal Samples for Analysis. PA: ASTM. USA 2012
7. ASTM Designation D 2639-16, Standard Test Method for Plastic Properties of Coal by the Constant-Torque Gieseler Plastometer. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA (2016).
8. ASTM. Designation: D 3172. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2013
9. ASTM. Designation: D 3173 Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. . Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2017
10. ASTM. Designation: D 3174 Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2012

11. ASTM. Designation: D 3175 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. Annual Book of Standards. PA: ASTM. USA 2017
  
12. ASTM Designation: D 4239 Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High- Temperature Tube Furnace Combustion Methods
  
13. Bansal R, P. P. (1996). Effect of coal preoxidation on the development of microporosity in activated carbons. *Carbon*, 789-787.
  
14. El carbón activado “en línea” obtenido de Ciencia libre. Disponible en internet <URL: <http://cienciacatalisislibre.blogspot.com.co/2011/11/el-carbon-activado.html>> 2015. p. 1
  
15. EL TIEMPO. "en linea" 22 de NOVIEMBRE de 2016. disponible en internet <URL: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/caida-en-la-produccion-de-carbon-en-boyaca-47855>>. p. 1
  
16. LÓPEZ SUÁREZ, A. Minas pequeñas de carbón suman a la producción del mineral. disponible en internet <URL: <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/mineria-pequena-de-carbon-aumento-en-2016-504556>> . 2017 P. 1
  
17. ROMERO Segundo. Aspectos practicos de la coquización en Cundinamarca Boyacá. en línea” Disponible en internet <URL: [http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/viewFile/3449/3084](http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/viewFile/3449/3084)> 2014. p. 2.
  
18. Teng H, H. y. (1997). Preparation of activated carbons from bituminous coals with CO2 activation: Influence of coal oxidation. Preparation of activated carbons from bituminous coals with CO2 activation: Influence of coal oxidation., 275-283.